



УДК 621.438.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАНА В  
СВЕРХЗВУКОВОЙ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ****THE STUDY OF METHANE'S FLOW IN  
SUPERSONIC TURBINE STAGE**

**Шемякинский Андрей Сергеевич**, магистрант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: shemyakinskyas@gmail.com, Тел.: +7(992) 005-06-32

**Седунин Вячеслав Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lerr@bk.ru. Тел.: +7(902) 254-28-97

**Надсон Андрей Александрович**, бакалавр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: andrew-nadson@mail.ru. Тел.: +7(912)619-18-64

**Andrey S. Shemyakinskiy**, Master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: shemyakinskyas@gmail.com. Ph.: +7(992)005-06-32

**Viacheslav A. Sedunin**, Candidate Sc., Docent, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lerr@bk.ru. Ph.: +7(902)254-28-97

**Andrey A. Nadson**, bachelor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: andrew-nadson@mail.ru. Ph.: +7(912)619-18-64

**Аннотация:** В представленном докладе описаны результаты исследования влияния формы межлопаточного канала на параметры потока в ступени осевого одноступенчатого турбодетандера. В качестве рабочего тела используется метан как реальный газ. Исследование проводилось с помощью методов вычислительной газовой динамики. Для профилирования лопаток турбины применялся программный код собственного производства, который включает в себя контроль формы межлопаточного канала.

**Abstract:** Research of the influence of the blade channel form on fluid flow parameters in axial turbine stage are presented in this article. Methane as real gas is working fluid. The study was carried out in computational fluid dynamics program. Application for generate profile of blades was created. It includes algorithm of blade channel form control.

**Ключевые слова:** турбинная лопатка, детандер, кривая Безье, профилирование, CFD моделирование.

**Key words:** turbine blade, curve Bezier, profiling, computational fluid dynamic method, expander.

**ВВЕДЕНИЕ**

Одной из задач проектирования турбомашин является разработка универсальных алгоритмов профилирования проточных частей. Профилирование лопаточного аппарата производится по полученным в результате газодинамического расчета кинематическим параметрам: скоростям, углам входа и выхода соплового аппарата и рабочего колеса. Методы автоматизированного профилирования широко используются в турбостроении. Наиболее распространенные методы представлены в [1,2]. На основе данных методов разработан собственный алгоритм профилирования с введением поправок для расширения диапазона применимости. Корытце состоит из кривой Безье

второго порядка, а спинка состоит из кривой Безье четвертого порядка. Данная конфигурация позволяет управлять формой межлопаточного канала, и тем самым влиять на газодинамические параметры потока, проходящего через канал. Входными параметрами для профилировщика являются  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\beta_{уст}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ . Изменение положения управляющих точек и входных параметров позволяет управлять кривизной средней линии канала, изменять распределение площади поперечного сечения. На рисунке 1 представлен пример профиля и отображение межлопаточного канала рабочего колеса, построенного с помощью метода, представленного выше.

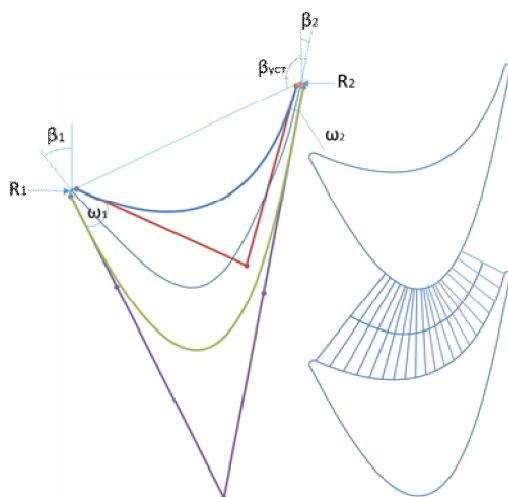


Рис. 1. Профиль лопатки рабочего колеса

Для исследования влияния формы межлопаточного канала на параметры потока в ступени произведено моделирование течения метана в сверхзвуковой ступени осевого турбодетандера, лопатки которого имеют постоянный профиль по высоте. Для исследования принято решение изменять входной угол заострения лопатки рабочего колеса. Угол  $\omega_1$  варьируется в пределах 20-45°. Моделирование производилось с помощью методов вычислительной газовой динамики. Тип ступени-активная, перепад давления 3.3. В связи с этими условиями на выходе из соплового аппарата поток приобретает сверхзвуковую скорость.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа результатов моделирования производилось сравнение всех вариантов расчета по следующим интегральным параметрам в ступени турбины: давление, температура, скорость в расчётных сечениях, осредненных по массовому расходу. Также производилась визуализация картины распределения числа Маха в каналах.

На рисунке 2 представлены графики распределения площади поперечного сечения межлопаточного канала рабочего колеса с разными углами заострения лопатки. С увеличением угла заострения изменяется отношение площадей входного сечения к горлу канала. Также стоит отметить характер распределения площади по длине. При малом угле заострения можно увидеть, что площадь сначала возрастает, потом снижается. На графике, соответствующем  $\omega_1=45^\circ$ , скачок площади наблюдается ближе к горлу. Подобное распределение площади может привести к неравномерности поля скоростей в канале.

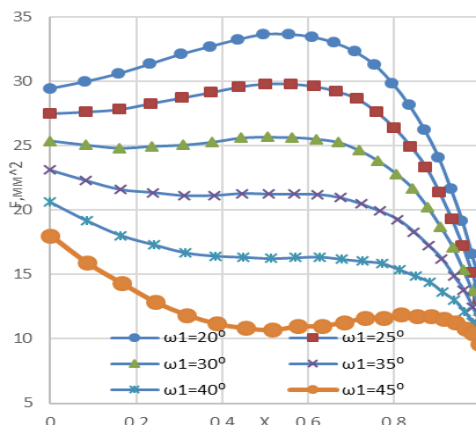


Рис. 2. Распределение площадей поперечного сечения канала РК по длине

Как видно из графиков рисунка 3 температура T2 и давление P2 на выходе из ступени снижаются с повышением угла  $\omega_1$ .

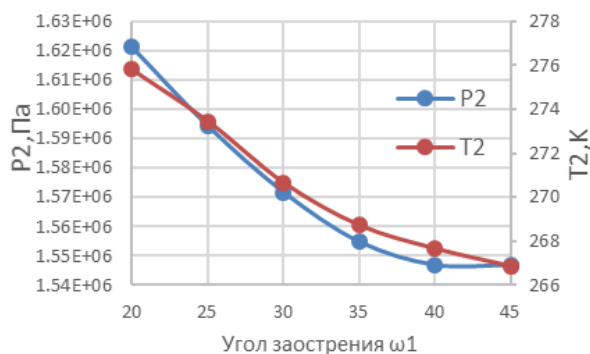


Рис. 3. График зависимости параметров потока на выходе из ступени

С увеличением угла заострения уменьшается отношение площади входного сечения канала к площади горла, в связи с этим снижается степень реактивности (рис.4).

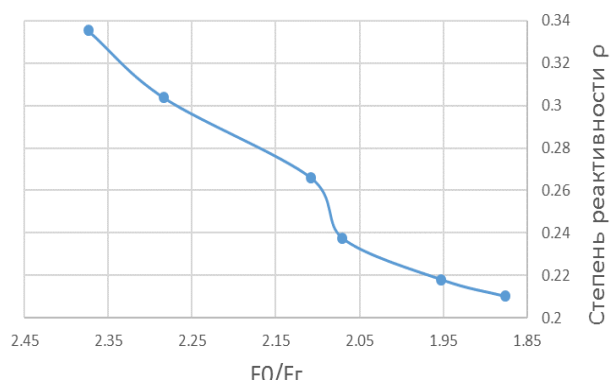


Рис. 4. Графики зависимости реактивности от отношения площадей входного сечения и горла

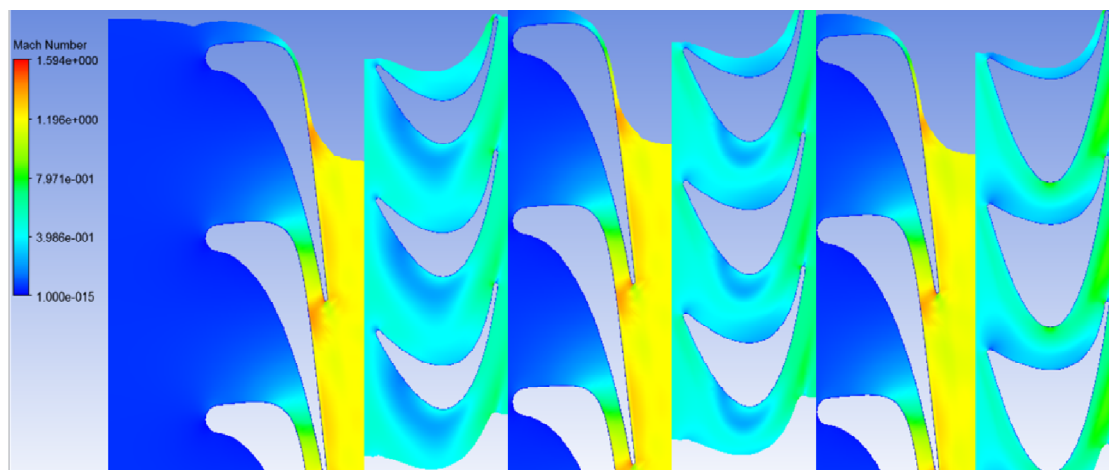


Рис. 5. Распределение числа Маха в ступенях (слева  $\omega_1=20^\circ$ , в центре  $\omega_1=30^\circ$ , справа  $\omega_1=45^\circ$ )

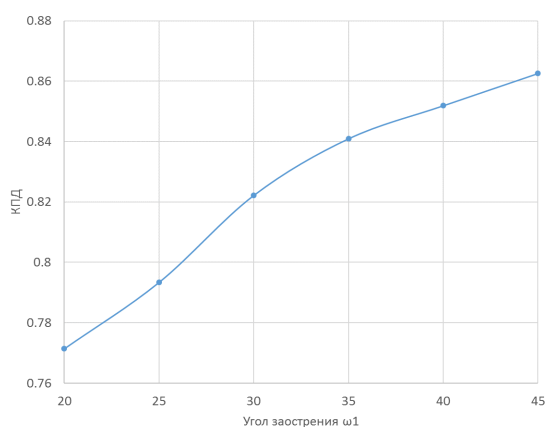


Рис. 6. График зависимости КПД от угла заострения

На графике, представленном на рисунке 6, видно, что с увеличением угла заострения, повысился адиабатный КПД. На рисунке 5 представлены картины распределения числа Маха в ступени с углами  $\omega_1$  рабочей лопатки равными  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $45^\circ$ . В связи с изменением формы канала, срыв, возникавший на спинке уменьшается, а на итоговом профиле отсутствует. Данный факт объясняет повышение адиабатного КПД ступени.

## ВЫВОДЫ

При малом перепаде давления в канале рабочего колеса требуется обеспечивать оптимальное отношение площади входного сечения канала к площади горла. При подобной конфигурации достигается максимальный адиабатный КПД ступени. На стадии проектирования следует учитывать характер изменения формы каналов, для того, чтобы добиться ожидаемого распределения параметров потока в ступени и исключить возможность возникновения срывных явлений.

Геометрические характеристики профилей лопаток отвечают за форму межлопаточного канала, которая, в свою очередь, влияет на параметры рабочего тела. Для наибольшей эффективности проточной части турбины важно правильно подобрать представленные выше геометрические параметры. На сегодняшний день существует необходимость в создании турбомашин, работающих на природном газе и органических веществах. Поэтому исследования влияния геометрических характеристик межлопаточного канала на параметры потока являются актуальными.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аронов Б.М. Профилирование лопаток авиационных газовых турбин / Б.М. Аронов, М.И. Жуковский, В.А. Журавлев. М.: Машиностроение. – 1975.
2. Дейч М.Е. Атлас порфилей решеток осевых турбин / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов, Л.Я. Лазарев Москва: Машиностроение. – 1965. – 96с.
3. Дейч М.Е. – Техническая газодинамика, М.-Л. Госэнергоиздат, 1961. – 669с.
4. Виноградов Л.В., Алексеев А.П., Костюков А.В. Профиль лопатки турбины из кривых Bezier/Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2013, № 3
5. Газодинамический расчет ступени газовой турбины: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию/ И. Д. Ларионов. Свердловск: УПИ. – 1989. – 37с.